Opérateur CALC_ELEM

1 But

Créer ou compléter un `résultat` en calculant des champs par éléments (contraintes, déformations, …).

Chaque champ élémentaire désiré est caractérisé par le mot clé `OPTION` (`'SIGM_ELNO_DEPL'`, `'FLUX_ELGA_TEMP'`, `'VARI_ELNO_ELGA'`, …).

Le concept résultat produit est soit créé, soit **modifié**, c'est-à-dire que l'appel à `CALC_ELEM` se fait de la façon suivante :

```
resu = CALC_ELEM (   RESULTAT = resu … ,   reuse = resu , …)
```

ou bien

```
resu1 = CALC_ELEM   (   RESULTAT = resu, …)
```

Table des matières

2 Syntaxe

```
resu   [*] = CALC_ELEM

            (  ◊  reuse = resu,
               ◊  MODELE =            mo,                     [modele]
               ◊  CHAM_MATER =        chmater,                [cham_mater]
               ◊  CARA_ELEM =         carac,                  [cara_elem]
               ◊  SOLVEUR = _F ( voir le document [U4.50.01] ),
               ◊  EXCIT = _F   (      ♦  CHARGE = l_charge,  [l_char_meca]
                                      ◊  / COEF_MULT  = cm,  [R]
                                         / COEF_MULT_C= cmc, [C]
                                         / FONC_MULT  = fm,  [fonction]
                                         / FONC_MULT_C= fmc, [fonction_C]
                                      ◊  PHAS_DEG  = pd,     [R]
                                      ◊  PUIS_PULS = n,      [I]
                                      ◊  TYPE_CHARGE = 'FIXE',
                                    )
               ◊  #  Sélection des mailles concernées par le calcul
                  /  TOUT =    'OUI',                        [DEFAUT]
                  /  |  GROUP_MA =   l_grma ,                [l_gr_maille]
                     |  MAILLE   =   l_mail ,                [l_maille]

               ♦  #  Sélection des numéro d'ordre :
                  /  TOUT_ORDRE =     'OUI',
                  /  NUME_ORDRE =     l_nuor ,               [l_I]
                  /  LIST_ORDRE =     l_nuor ,               [listis]
                  /  NUME_MODE  =     l_numo ,               [l_I]
                  /  NOEUD_CMP  =     l_nomo ,               [l_K16]
                  /  NOM_CAS    =     nocas  ,               [K16]
                  /  ♦  /   INST =       l_inst ,            [l_R]
                        /  FREQ =     l_freq ,               [l_R]
                        /  LIST_INST =  l_inst ,             [listr8]
                        /  LIST_FREQ =  l_freq ,             [listr8]
                     ◊  |  P RECISION = / prec,
                                        / 1.0E-3,            [DEFAUT]
                        |  CRITERE =    / 'RELATIF',         [DEFAUT]
                                        / 'ABSOLU' ,

               ◊  REPE_COQUE

                  ◊  /  TOUT      =  'OUI'  ,                [DEFAUT]
                     /  MAILLE    =  lmail  ,                [l_maille]
                     /  GROUP_MA  =  gma    ,                [group_ma]

                     ◊  ANGLE =   /  delta,                  [I]
                                  /  0.,                     [DEFAUT]

                     ◊  PLAN =    /  'MAIL',                 [DEFAUT]
                                  /  'MOY',
                                  /  'INF',
                                  /  'SUP',

                     ◊  |  NUME_COUCHE =    /  nume,         [I]
                                            /  1,            [DEFAUT]
                        |  NIVE_COUCHE =    /  'INF',
                                            /  'SUP',
                                            /  'MOY'         [DEFAUT]
                     ◊  ANGLE_REP=( α , β )                  [l_R]
                     ◊  VECTEUR   =(x,y,z)                   [l_R]
```

```
# options pour des résultats mécaniques linéaires

♦  RESULTAT =   resu,

◊  TYPE_OPTION =     'TOUTES'                    [DEFAUT]
   OPTION = toutes les options ci-dessous,

#  options de calcul des contraintes (éléments de milieu
   continu 2D et 3D) (cf. [§3.6.1])

   TYPE_OPTION =     'SIGM_MASSIF',

            OPTION =  |  'SIEF_ELNO_ELGA'
                      |  'SIGM_ELNO_DEPL'
                      |  'SIEF_ELGA_DEPL'
                      |  'ARCO_ELNO_SIGM'

#  options de calcul des contraintes (éléments de structure :
   poutres, tuyaux, coques)  (cf. [§3.6.1])

   TYPE_OPTION =     'SIGM_STRUCT',
       ♦  OPTION =     |  'SIEF_ELNO_ELGA'
                      |  'SIGM_ELNO_DEPL'
                      |  'SIEF_ELGA_DEPL'
                      |  'SIGM_ELNO_TUYO'
                      |  'SIPO_ELNO_DEPL'
                      |  'EFGE_ELNO_DEPL'
                      |  'EFGE_ELNO_CART'
                      |  'SIGM_ELNO_CART'
                      |  'SIGM_ELNO_SIEF'
                      |  'SIPO_ELNO_SIEF'

#  options de calcul des déformations(cf. [§3.6.2])

   TYPE_OPTION =     'EPSI',
       ♦  OPTION   =   |  'EPSI_ELNO_DEPL'
                      |  'EPSI_ELGA_DEPL'
                      |  'EPME_ELNO_DEPL'
                      |  'EPME_ELGA_DEPL'
                      |  'DEGE_ELNO_DEPL'
                      |  'EPSI_ELNO_TUYO'
                      |  'EPVC_ELNO'
                      |  'EPVC_ELGA'

#  options de calcul d'énergies (cf. [§3.6.4])

   TYPE_OPTION =     'ENER',
       ♦  OPTION   =   |  'EPOT_ELEM_DEPL'
                      |  'ECIN_ELEM_DEPL'
                      |  'ENEL_ELGA'
                      |  'ENEL_ELNO_ELGA'
                      |  'ETOT_ELGA'
                      |  'ETOT_ELNO_ELGA'
                      |  'DISS_ELGA'
                      |  'DISS_ELNO_ELGA'
                      |  'ETOT_ELEM'
```

```
#   options de calcul de critères (cf. [§3.6.5])

    TYPE_OPTION =     'CRIT',
        ♦  OPTION   =    |  'EQUI_ELNO_SIGM'
                         |  'EQUI_ELGA_SIGM'
                         |  'EQUI_ELNO_EPSI'
                         |  'EQUI_ELGA_EPSI'
                         |  'EQUI_ELNO_EPME'
                         |  'EQUI_ELGA_EPME'
                         |  'ENDO_ELNO_SIGA'
                         |  'ENDO_ELNO_SINO'
                         |  'ENDO_ELGA'
                         |  'ENDO_ELNO_ELGA'
                         |  'SIEQ_ELNO_TUYO'
                         |  'EPEQ_ELNO_TUYO'
                         |  'CRIT_ELNO_RUPT'

#   options de calcul d'indicateurs d'erreur(cf. [§3.6.6])

    TYPE_OPTION =     'INDI_ERRE',
        ♦  OPTION   =    |  'SIGM_NOZ1_ELGA'
                         |  'ERRE_ELEM_NOZ1'
                         |  'SIGM_NOZ2_ELGA'
                         |  'ERRE_ELEM_NOZ2'
                         |  'SIRE_ELNO_DEPL'
                         |  'ERRE_ELGA_NORE'
                         |  'ERRE_ELNO_ELGA'

#   autres options (cf. [§3.6.7])

    TYPE_OPTION =     'AUTRES',
        ♦  OPTION   =    |  'VALE_NCOU_MAXI'
                            ◊  NOM_CHAM = ch,   [cham_elem_*]
                            ◊  NOM_CMP  = cmp,  [TXM]

                         |  'PRES_DBEL_DEPL'
                         |  'VNOR_ELEM_DEPL'

#   options de calcul de dérivées (liées à la
                 sensibilité) (cf [§3.2])

    TYPE_OPTION =     'DERIVEES',
        ♦  OPTION   =    |  'DEUL_ELGA_DEPL'
                         |  'DEDE_ELNO_DLDE'
                         |  'DESI_ELNO_DLSI'
```

```
 # options pour les résultats non linéaires (produits
 par STAT_NON_LINE ou DYNA_NON_LINE):

♦   RESULTAT =   resu,                      /   [evol_noli]

◊   TYPE_OPTION =     'TOUTES'                  [DEFAUT]
♦   OPTION = toutes les options ci-dessous,


#   options de calcul des contraintes (éléments de
                 milieux continus 2D et 3D) (cf. [§3.6.1])

TYPE_OPTION =     'SIGM_MASSIF,
   ♦  OPTION   =       |  'SIEF_ELNO_ELGA'
                       |  'ARCO_ELNO_SIGM'

#   options de calcul des contraintes (éléments de
    structure : poutres, tuyaux, coques) (cf. [§3.6.1])

TYPE_OPTION =     'SIGM_STRUCT',
   ♦  OPTION   =       |  'SIEF_ELNO_ELGA'
                       |  'EFGE_ELNO_CART'
                       |  'SIGM_ELNO_TUYO'
                       |  'SIGM_ELNO_COQU'
                       |  'SIGM_ELNO_SIEF'
                       |  'SIPO_ELNO_SIEF'

#   options de calcul des déformations (cf. [§3.6.2])

TYPE_OPTION =     'EPSI',
   ♦  OPTION   =       |  'EPSI_ELNO_DEPL'
                       |  'EPSI_ELGA_DEPL'
                       |  'EPSG_ELNO_DEPL'
                       |  'EPSG_ELGA_DEPL'
                       |  'EPME_ELNO_DEPL'
                       |  'EPME_ELGA_DEPL'
                       |  'EPMG_ELNO_DEPL'
                       |  'EPMG_ELGA_DEPL'
                       |  'EPSP_ELNO'
                       |  'EPSP_ELGA'
                       |  'EPFD_ELNO'
                       |  'EPFD_ELGA'
                       |  'EPFP_ELNO'
                       |  'EPFP_ELGA'
                       |  'EPVC_ELNO'
                       |  'EPVC_ELGA'
                       |  'EPSI_ELNO_TUYO'
                       |  'DEGE_ELNO_DEPL'

#   options d'interpolation et d'extraction des
                 variables internes (cf. [§3.6.3])

TYPE_OPTION =     'VARI',
   ♦  OPTION   =       |  'VARI_ELNO_ELGA'
                       |  'VARI_ELNO_TUYO'
                       |  'VARI_ELNO_COQU'
                       |  'EXTR_ELGA_VARI'
                       |  'EXTR_ELNO_VARI'
```

```
#   options de calcul d'énergies (cf. [§3.6.4])

TYPE_OPTION =     'ENER',
   ♦  OPTION   =       |  'ETOT_ELGA'
                       |  'ETOT_ELNO_ELGA'
                       |  'ETOT_ELEM'
                       |  'ENEL_ELGA'
                       |  'ENEL_ELNO_ELGA'

#   options de calcul de critères (cf. [§3.6.5])

TYPE_OPTION =     'CRIT,
   ♦  OPTION   =       |  'EQUI_ELNO_SIGM'
                       |  'EQUI_ELGA_SIGM'
                       |  'EQUI_ELNO_EPSI'
                       |  'EQUI_ELGA_EPSI'
                       |  'EQUI_ELNO_EPME'
                       |  'EQUI_ELGA_EPME'
                       |  'ENDO_ELNO_SIGA'
                       |  'ENDO_ELNO_SINO'
                       |  'CRIT_ELNO_RUPT'
                       |  'ENDO_ELGA'
                       |  'ENDO_ELNO_ELGA'
                       |  'PMPB_ELNO_SIEF'
                       |  'PMPB_ELGA_SIEF'
                       |  'INDI_LOCA_ELGA'
                       |  'SIEQ_ELNO_TUYO'
                       |  'EPEQ_ELNO_TUYO'

#   options de calcul d'indicateurs d'erreur(cf. [§3.6.6]) ])

TYPE_OPTION =     'INDI_ERRE',
   ♦   OPTION   =      |  'ERRE_ELEM_SIGM'
                       |  'ERZ1_ELEM_SIGM'
                       |  'ERZ2_ELEM_SIGM'
                       |  'QIZ1_ELEM_SIGM'
                       |  'QIZ2_ELEM_SIGM'
                       |  'SING_ELEM'
                          ♦  PREC_ERR  = err,    [R]
                       |  'SING_ELNO_ELEM'
                       |  'ERRE_ELNO_ELEM'
                       |  'QIRE_ELEM_SIGM'
                          ♦  RESU_DUAL = rd ,    [evol_noli]
                       |  'QIRE_ELNO_ELEM'
                       |  'DCHA_ELNO_SIGM'
                       |  'DCHA_ELGA_SIGM'
                       |  'RADI_ELNO_SIGM'
                       |  'RADI_ELGA_SIGM'
                          ◊  NORME =   /  'VMIS',   [DEFAUT]
                                       /  'TOTAL',
                                       /  'VMIS_CINE' ,
                                       /  'TOTAL_CINE'

#   autres options (cf. [§3.6.7])

TYPE_OPTION =     'AUTRES',
   ♦  OPTION   =       |  'VALE_NCOU_MAXI'
```

```
              ◊   NOM_CHAM = ch,                          [cham_elem_*]
              ◊   NOM_CMP  = cmp,                         [TXM]



           /  #   options thermiques

              ♦      OPTION =     |   'FLUX_ELNO_TEMP',
                                  |   'FLUX_ELGA_TEMP',
                                  |   'DEUL_ELGA_TEMP',
                                  |   'DETE_ELNO_DLTE',
                                  |   'ERRE_ELEM_TEMP',
                                  |   'ERRE_ELNO_ELEM',
                                  |   'SOUR_ELGA_ELEC',
                                  |   'DURT_ELGA_META',
                                  |   'DURT_ELNO_META',
                                  |   'HYDR_ELNO_ELGA',
              ♦   RESULTAT =   resu,                  /   [evol_ther]
              ◊   SENSIBILITE = l_parasensi,
                     /   theta,                           [theta_geom]
                     /   listpara,                        [para_sensi]

           /  #   options acoustiques
              ♦      OPTION =     |   'PRES_ELNO_DBEL',
                                  |   'PRES_ELNO_REEL',
                                  |   'PRES_ELNO_IMAG',
                                  |   'INTE_ELNO_ACTI',
                                  |   'INTE_ELNO_REAC',
              ♦   RESULTAT  =  resu,                  /   [acou_harmo]
                                                      /   [mode_acou]

        ◊   TITRE = titre,                                [l_Kn]
        ◊   INFO  =   /  1,                               [DEFAUT]
                      /  2,

        ◊   SENSIBILITE = l_parasensi,
                     /   theta,                           [theta_geom]
                     /   listpara,                        [para_sensi]
                              )
);
```

2.1 Opérandes RESULTAT/MODELE/CHAM_MATER/CARA_ELEM/EXCIT/SOLVEUR

2.1.1 Opérandes RESULTAT

♦ `RESULTAT = resu`

Nom de la structure de données résultat à enrichir. Cet argument peut être le même que celui utilisé pour le concept enrichi par l'opérateur, ou un nom différent, ce qui créera une nouvelle structure de données résultat (voir par exemple le test SSLS504 [V3.03.504].

Remarque : dans la majorité des situations, la structure de données `resu` contient toutes les informations nécessaires au calcul des options : le modèle, le champ de matériau, les caractéristiques élémentaires, les chargements. Les mots-clés `MODELE`, `CHAM_MATER`, `CARA_ELEM` et `EXCIT` sont donc inutiles.

2.1.2 Opérandes MODELE / CHAM_MATER / CARA_ELEM.

◊ `MODELE = mo`

Nom du modèle sur lequel sont calculés les efforts, les contraintes, les déformations, …. Il est optionnel car peut être extrait du résultat.

◊ `CHAM_MATER = chmater`

Champ de matériau associé au modèle `mo`. Ce mot-clé est optionnel, et ne doit être fourni que dans des cas exceptionnels (modification volontaire du matériau par exemple).

◊ `CARA_ELEM = carac`

Caractéristiques élémentaires associées au modèle `mo`, s'il contient des éléments de structure ou si les éléments iso-paramétriques sont affectés par un repère local d'anisotropie. Ce mot-clé est optionnel.

2.1.3 Mot clé EXCIT

Ce mot clé facteur (optionnel) permet de spécifier les chargements thermiques ou mécaniques à utiliser pour le calcul des options, en lieu et place de ceux qui ont servi dans le calcul de la structure de données spécifiée sous le mot clé `RESULTAT`.

La définition de ce mot-clé est identique à celle des commandes qui ont construit la structure de données `resu` : voir les commandes `MECA_STATIQUE` [U4.51.01], `STAT_NON_LINE` [U4.51.03], `DYNA_LINE_HARM` [U4.53.11], et `DYNA_LINE_TRAN` [U4.53.02].

2.1.4 Mot clé SOLVEUR

La syntaxe de ce mot clé commun à plusieurs commandes est décrite dans le document [U4.50.01].
Remarque : dans la commande, le solveur n'est utilisé que pour l'estimateur d'erreur 'ZZ1'. Les 3 solveurs autorisés sont 'LDLT', 'MULT_FRONT' et 'MUMPS' (défaut : MULT_FRONT). En toute rigueur, le solveur MUMPS n'est pas recommandé car il ne sait pas (encore) traiter STOP_SINGULIER='NON'.

2.2 Opérande SENSIBILITE

```
◊ SENSIBILITE =
        /  theta                        [theta_geom]
        /  listpara                     [para_sensi]
```

Ce mot-clé est suivi d'une liste de paramètres sensibles. Il précise que l'on ne s'intéresse pas au résultat en lui-même, mais à la dérivée du résultat par rapport à un paramètre. Ainsi une séquence du type :

```
RESULTAT=resu,
SENSIBILITE=(ps),
OPTION='SIEF_ELGA_DEPL',
```

Signifie que l'on veut calculer aux points de Gauss la dérivée des contraintes par rapport au paramètre ps . Voir [U4 .50.02] pour les détails sur les paramètres associés aux mots clé.

```
| 'DEUL_ELGA_DEPL'
| 'DEDE_ELNO_DLDE'
```

Dérivée Eulérienne du champ de déplacements aux points de Gauss ou aux nœuds [R4.03.01], disponible en linéaire seulement.
Nécessite la connaissance de la dérivée Lagrangienne des déplacements, donc d'avoir activé l'option SENSIBILITE dans MECA_STATIQUE, et d'utiliser le mot-clé SENSIBILITE dans CALC_ELEM.

```
| 'DESI_ELNO_DLSI'
```

Dérivée Eulérienne du champ de contraintes aux nœuds [R4.03.01], disponible en linéaire seulement.
Nécessite la connaissance de la dérivée Lagrangienne des contraintes en élasticité linéaire, donc d'avoir activé l'option SENSIBILITE dans MECA_STATIQUE, et d'utiliser le mot-clé SENSIBILITE dans CALC_ELEM.

2.3 Sélection des mailles concernées par le calcul

Les mots clés TOUT, GROUP_MA et MAILLE permettent à l'utilisateur de choisir les mailles sur lesquelles il souhaite faire ses calculs élémentaires de post-traitement.

```
/ TOUT = 'OUI'
```

Toutes les mailles (porteuses d'éléments finis) seront traitées. C'est la valeur par défaut.

```
/ | GROUP_MA = l_grma
  | MAILLE   = l_maille
```

Seules les mailles incluses dans l_grma et/ou l_maille seront traitées.

2.4 Définition d'un repère local de dépouillement : opérande REPE_COQUE

Ce mot-clé facteur est répétable. Il regroupe les mots-clés simples utilisés pour le post-traitement des coques et tuyaux (NUME_COUCHE, NIVE_COUCHE, ANGLE et PLAN) et les mot-clés définissant le repère local (ANGL_REP et VECTEUR) du mot-clé facteur COQUE de la commande AFFE_CARA_ELEM. De plus, la présence des mot-clés GROUP_MA / MAILLE / TOUT (facultatif avec TOUT='OUI' en défaut), permet de définir le repère local de post-traitement et la localisation groupe de mailles par groupe de mailles (exemple, faire le calcul des contraintes sur le tuyau coude en une seule fois).

MAILLE

```
/ MAILLE = lmail
```

Ce mot clé permet d'appliquer les hypothèses sur les mailles dont la liste est indiquée en argument.

TOUT

```
/ TOUT = 'OUI'
```

Ce mot clé permet d'appliquer les hypothèses sur toutes les mailles du maillage.

GROUP_MA

/ GROUP_MA = gma

Ce mot clé permet d'appliquer les hypothèses sur le groupe de mailles gma indiqué en argument.

◊ NUME_COUCHE = nume

Dans le cas d'un matériau multicouche (coque multicouche définie par DEFI_COQU_MULT), ou d'un élément de structure avec comportement non linéaire local, intégré par couches, NUME_COUCHE est la valeur entière comprise entre 1 et le nombre de couches, nécessaire pour préciser la couche où l'on désire effectuer le calcul élémentaire. Par convention, la couche 1 est la couche inférieure (dans le sens de la normale) dans le cas des éléments de coque mécanique ou de coque thermique et correspond à la couche interne dans le cas d'un élément TUYAU.

◊ NIVE_COUCHE =

Pour la couche nume définie par NUME_COUCHE, permet de préciser l'ordonnée où l'on désire effectuer le calcul élémentaire :

'INF'	ordonnée inférieure de la couche	(peau interne),
'SUP'	ordonnée supérieure de la couche	(peau externe),
'MOY'	ordonnée moyenne de la couche	(feuillet moyen).

◊ PLAN = /'MAIL' [DEFAUT]
/'MOY'
/' INF'
/' SUP'

- 'MAIL' : plan du maillage,
- 'MOY' : plan moyen,
- 'INF' : plan supérieur (dans le sens de la normale),
- 'SUP' : plan inférieur (dans le sens de la normale).

Cet opérande permet de spécifier le plan de calcul des champs élémentaires pour un modèle avec des éléments de plaques en tenant compte de l'excentrement éventuel.

Limitations : cette option n'est disponible que pour le calcul des efforts généralisés par éléments aux nœuds à partir des déplacements (élasticité linéaire), option EFGE_ELNO_DEPL.

De plus, cette option n'est utilisable que pour les DKT, DST, Q4G, GRILLE.

◊ ANGLE = / delta, [I]
/ 0., [DEFAUT]

•delta : angle en degrés (valeur entière) compté à partir de la position de la génératrice de l'élément tuyau,

◊ / VECTEUR = (x, y, z) [l_R] (par défaut, VECTEUR=(1, 0, 0))
/ ANGL_REP = (α, β) [l_R]

Mots clés permettant la construction d'un repère local aux éléments de coques ou de plaques, afin de calculer les champs produits par les options demandées (contraintes, efforts, …) dans ce repère local.

La définition de ce repère local est identique à celle de l'opérateur AFFE_CARA_ELEM [U4.42.01] .

2.5 Sélection des numéros d'ordre

L'emploi des mots-clés TOUT_ORDRE, NUM_ORDRE, INST, FREQ est décrit dans le document [U4.71.00].

2.6 Opérandes pour les options mécaniques

2.6.1 Option de calcul des contraintes

| 'SIEF_ELGA_DEPL'

Calcul de l'état de contrainte par élément aux points d'intégration de l'élément (points de GAUSS ou points d'intégrations pour chaque couche des éléments de coque et chaque secteur des éléments tuyaux) à partir des déplacements (élasticité linéaire), voir [U2.01.05].

| 'SIEF_ELNO_ELGA'

Calcul de l'état de contrainte aux nœuds (par élément) à partir de l'état de contrainte aux points de Gauss.

| 'SIGM_ELNO_DEPL'

Calcul des contraintes par élément aux nœuds à partir des déplacements (élasticité linéaire).

```
| 'SIGM_ELNO_COQU'
| 'NUME_COUCHE' =  nume,
                   1,                      [DEFAUT]
| 'NIV_COUCHE'  =  /  'INF',
                   /  'SUP',
                   /  'MOY',               [DEFAUT]
```

Calcul des contraintes **dans une couche** d'éléments de coque (mots clés NUME_COUCHE et NIVE_COUCHE) à partir des contraintes aux points d'intégration de chaque couche (SIEF_ELGA) calculées lors d'un calcul non linéaire. Ces contraintes sont calculées dans le repère local de la coque défini par l'utilisateur dans la commande AFFE_CARA_ELEM. Dans le cas des coques en grands déplacements et grandes rotations (COQUE_3D avec DEFORMATION='GREEN_GR'), cette option intègre également le calcul des contraintes de Cauchy à partir des contraintes de Piola-Kirchhoff. Les contraintes issues de cette option sont donc des contraintes de Cauchy dans une couche.

| 'SIGM_ELNO_TUYO'

Calcul des contraintes **dans une couche** et pour un secteur angulaire d'éléments tuyau (mots clés REPE_COQUE / NUME_COUCHE, NIVE_COUCHE et ANGLE).

| 'SIGM_ELNO_CART'
'EFGE_ELNO_CART'

Changement de repère des contraintes (ou des efforts généralisés) par élément aux nœuds du repère local au repère **global** de description du maillage ; cette option consiste à convertir un champ de contrainte (ou d'efforts généralisés) pour un modèle avec des éléments de structure, attachés au repère de référence d'un ensemble de plaques ou de coques ou du repère d'inertie principal d'un élément de poutre, pour les exprimer dans le repère global.

```
| 'EFGE_ELNO_DEPL'
              ◊  REPE_COQUE
                   ◊  PLAN =   /'MAIL'          [DEFAUT]
                               /'MOY'
                               /' INF'
                               /' SUP'
```

Calcul des efforts généralisés par élément aux nœuds à partir des déplacements (élasticité linéaire) ; cette option n'a de sens que pour un modèle avec des éléments de structure (poutre, coque).

Dans le cas des modélisations de plaques avec excentrement (DKT, DST, Q4G, GRILLE), PLAN permet de définir le plan de calcul :

- 'MAIL' : plan du maillage,
- 'MOY' : plan moyen,
- 'INF' : plan supérieur (dans le sens de la normale),
- 'SUP' : plan inférieur (dans le sens de la normale).

| 'SIPO_ELNO_DEPL'

"Contraintes" dans la section de poutre décomposée en contributions de chaque effort généralisé :

SN $\sigma_{xx}=\frac{N}{A}$ due à l'effort normal

SMFY $\sigma_{xx}=\frac{MY\ z}{I_y}$ due au moment de flexion MY

SMFZ $\sigma_{xx}=\frac{MZ\ y}{I_y}$ due au moment MZ

SVY $\sigma_{xy}=\frac{Vy\ a_y}{A}$ due à l'effort tranchant Vy , a_y coefficient de cisaillement dans la direction y

SVZ $\sigma_{xz}=\frac{Vz\ a_z}{A}$ due à l'effort tranchant Vz , a_z coefficient de cisaillement dans la direction z

SMT $\sigma_{yz}=\frac{MX\ R_t}{J_x}$ due au moment de torsion MX

Tout ceci en repère local, repère principal d'inertie de la section droite [R3.08.01].

Les valeurs de σ_{xx} dues aux deux moments de flexion sont les valeurs maximum de celles calculées en Ymin, Ymax d'une part, et en Zmin, Zmax d'autre part (pour une section générale) (cf. AFFE_CARA_ELEM [U4.42.01]).

Pour une section rectangulaire :

- on calcule la valeur de SMFY en z = HZ/2,
- on calcule la valeur de SMFZ en y = HY/2.

Pour une section circulaire, on calcule les valeurs de SMFY et SMFZ pour y et z valant R.

| 'SIGM_ELNO_SIEF'
| 'SIPO_ELNO_SIEF'

Calcul des contraintes linéarisées par élément aux nœuds à partir des efforts généralisés (contenus dans le champ SIEF_ELNO_ELGA).
Les expressions sont les mêmes que pour les options SIGM_ELNO_DEPL ou SIPO_ELNO_DEPL, utilisables seulement en élasticité linéaire. Ici, les options SIGM_ELNO_SIEF et SIPO_ELNO_SIEF effectuent les mêmes calculs que SIGM_ELNO_DEPL ou SIPO_ELNO_DEPL (par exemple $\sigma_{xx}=\left|\frac{N}{S}\right|+\frac{M_y \cdot R}{I_z}+\frac{M_y \cdot R}{I_y}$) à partir du champ SIEF_ELNO_ELGA, qui peut être calculé pour des comportements non linéaires. Ces contraintes locales ne sont pas les contraintes réelles, mais une estimation des contraintes dues aux efforts généralisés sous l'hypothèse d'une répartition linéaire dans la section de la poutre.

| 'ARCO_ELNO_SIGM'

Calcul du champ de contraintes d'arc et de console pour l'analyse mécanique des ouvrages voûtes.

Le but de cette option est d'estimer le champ de contraintes sur les parements amont et aval de l'ouvrage (surface) alors que la structure est modélisée en volumique.

Ce champ est évalué à partir d'un champ de contraintes aux nœuds par élément (option SIGM_ELNO_DEPL dans le cas linéaire ou option SIEF_ELNO_ELGA dans le cas non linéaire) calculé sur les mailles volumiques (MODELISATION='3D' ou '3D_SI').

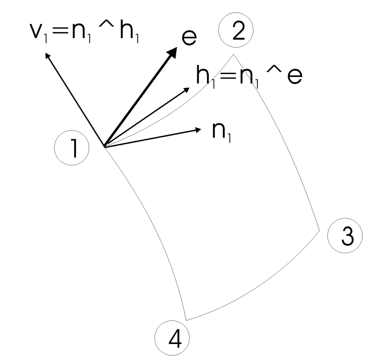
Les composantes du nouveau tenseur des contraintes sont :

1) SI_NORM : La composante suivant la normale à la face ;
2) SI_ARC : La composante de la contrainte d'arc ; elle est perpendiculaire à la normale de l'élément et parallèle à l'horizontale (direction fixée en imposant conventionnellement la troisième ascendante) ;
3) SI_CONS : La composante de la contrainte de console ; c'est la composante suivant la troisième direction (dans le plan tangent et donc ascendante).

Pour calculer ces contraintes, on effectue un changement de repère, du repère global XYZ au repère local X1X2X3, lors du traitement de chaque nœud de la maille de peau.

Le repère local en un nœud d'une maille est défini par :

1) X3 : vecteur normal,
2) X1 : un vecteur horizontal, calculé à partir d'une direction verticale **e** définie soit par ses composantes cartésiennes à l'aide du mot-clé VECTEUR, soit par ses angles nautiques à l'aide du mot clé ANGL_REP dans l'option CALC_ELEM (cf Figure suivante)
3) X2 : vecteur complétant le trièdre.



calcul du trièdre local au nœud 1 :

Le vecteur horizontal $\mathbf{h_1}$ est d'abord évalué par produit vectoriel de $\mathbf{n_1}$, normale portée par le nœud considéré de l'élément, par **e**. $\mathbf{v_1}$, vecteur vertical complétant le trièdre local, se déduit alors automatiquement

2.6.2 Options de calcul des déformations

| 'DEGE_ELNO_DEPL'

Calcul des déformations généralisées par élément aux nœuds à partir des déplacements (élasticité linéaire) ; cette option n'a de sens que pour un modèle avec des éléments de structure.

| 'EPFP_ELNO'

'EPFP_ELGA'

Calcul (aux nœuds ou aux points de Gauss) des déformations de fluage propre associées au modèle GRANGER_FP ou au modèle BETON_UMLV_FP (pour les bétons).

| 'EPFD_ELNO'
'EPFD_ELGA'

Calcul (aux nœuds ou aux points de Gauss) des déformations de dessiccation des bétons, pour le modèle BETON_UMLV_FP).

| 'EPME_ELNO_DEPL'
'EPME_ELGA_DEPL'

Calcul (aux nœuds ou aux points de Gauss) des déformations ''mécaniques'' à partir des déplacements. Ce calcul est fait en théorie des ''**petits déplacements**''. Les déformations calculées sont égales aux déformations totales moins les déformations thermiques.

$$\varepsilon_{ij}^{m}(u)=\frac{1}{2}\left(u_{i,j}+u_{j,i}\right)-\varepsilon^{th}$$

| 'EPMG_ELNO_DEPL'
'EPMG_ELGA_DEPL'

Calcul (aux nœuds ou aux points de Gauss) des déformations ''mécaniques'' à partir des déplacements. Ce calcul est fait en théorie des ''**grands déplacements**''. Les déformations calculées sont égales aux déformations totales moins les déformations thermiques.

$$E_{ij}^{m}(u)=\frac{1}{2}\left(u_{i,j}+u_{j,i}+u_{k,i}u_{k,j}\right)-\varepsilon^{th}$$

| 'EPSG_ELGA_DEPL'

Déformations de Green Lagrange aux points de Gauss.

$$E_{ij}(u)=\frac{1}{2}\left(u_{i,j}+u_{j,i}+u_{k,i}u_{k,j}\right)$$

| 'EPSG_ELNO_DEPL'

Déformations de Green Lagrange aux nœuds.

| 'EPSI_ELNO_DEPL'
'EPSI_ELGA_DEPL'

Calcul des déformations par élément aux nœuds (ou aux points de Gauss) à partir des déplacements.

$$\varepsilon_{ij}(u)=\frac{1}{2}\left(u_{i,j}+u_{j,i}\right)$$

| 'EPSI_ELNO_TUYO'

Calcul des déformations **dans une couche** et pour un secteur angulaire d'éléments tuyau (voir le mot clé REPE_COQUE).

| 'EPSP_ELGA'

Déformations anélastiques aux points de Gauss. A partir du champ de déplacements (u), de contraintes (σ), de températures T, de déformations anélastiques éventuelles ε^{a}, et de variables internes, on calcule à chaque instant : $\varepsilon^{p}=\varepsilon(u)-A^{-1}\sigma-\varepsilon^{th}(T)-\varepsilon^{a}-\varepsilon^{fl}$ où ε^{fl} est la déformation de fluage propre de Granger.

| 'EPSP_ELNO'

Déformations anélastiques obtenues par extrapolation aux nœuds des valeurs aux points de Gauss (cf. EPSP_ELGA).

2.6.3 Options d'interpolation et d'extraction des variables internes

| 'VARI_ELNO_ELGA'

Calcul des variables internes aux nœuds des éléments à partir des points de Gauss.

Le nombre et le type de ces variables internes sont spécifiques à chaque modèle de comportement (cf. doc U4 de STAT_NON_LINE par exemple).

| 'VARI_ELNO_TUYO'

Calcul des variables internes **dans une couche** et pour un secteur angulaire d'éléments tuyau (mots clés REPE_COQUE / NUME_COUCHE, NIVE_COUCHE et ANGLE).

| 'VARI_ELNO_COQU'

Calcul des variables internes dans une couche d'éléments coque définie par NUME_COUCHE et NIVE_COUCHE.

| 'EXTR_ELNO_VARI', 'EXTR_ELGA_VARI'

Extraction des **variables internes en THM uniquement** (respectivement aux nœuds par éléments et aux points de Gauss).
Pour pouvoir post traiter les variables internes en THM de façon plus conviviale, des champs ont été créés. Le principe de ces champs est d'extraire du champ VARI_ELGA (ou VARI_ELNO_ELGA pour le cham_elem aux nœuds) la variable interne qui nous intéresse via un mot clé plus parlant que V1,V2,...

◊ NOM_VARI = / nom_vari, [TXM]

Le nom des nouveaux champs est EXTR_ELGA_VARI et EXTR_ELNO_VARI pour les cham_elem et EXTR_NOEU_VARI pour le cham_no.

En tant que post traitement ces champs sont calculés par CALC_ELEM et CALC_NO. La syntaxe à utiliser est la suivante :

[1] pour un cham_elem

```
GAMP=CALC_ELEM(RESULTAT=U1,
  OPTION='EXTR_ELNO_VARI',
  NOM_VARI='GAMP'); ----------->
```

nouveau mot clé pour indiquer quelle variable on souhaite extraire via un nom codé

[1] pour un cham_no

```
GAMP=CALC_NO(reuse=GAMP,
  RESULTAT=GAMP,
  OPTION='EXTR_NOEU_VARI');
```

Puisqu'il s'agit juste d'extraire une (et une seule!!) variable interne, les cham_elem correspondants doivent avoir été calculés au préalable.

La liste des différents noms symboliques des variables internes est :

"DPORO" : variation de la porosité du matériau

`"DRHOLQ"`	:	variation de la masse volumique du matériau
`"DPVP"`	:	variation de la pression de vapeur
`"SATLIQ"`	:	saturation du liquide
`"EVP"`	:	déformation plastique volumique cumulée
`"IND_ETA"`	:	Indicateur d'état mécanique
`"D"`	:	Valeur de l'endommagement
`"IND_END"`	:	Indicateur d'endommagement
`"TEMP_MAX"`	:	Température maximale
`"GAMP"`	:	Déformation déviatoire plastique cumulée
`"PCR"`	:	Pression critique
`"SEUIL_HYD"`	:	Seuil hydrique
`"IND_HYD"`	:	Indicateur d'irréversibilité hydrique
`"PCOHE"`	:	Pression de cohésion
`"COMP_ROC"`	:	Comportement de la roche
`"SEUIL_ISO"`	:	Seuil isotrope
`"ANG_DEV"`	:	Angle du seuil déviatoire
`"X11"`	:	Composantes du tenseur d'écrouissage cinématique
`"X22"`	:	Composantes du tenseur d'écrouissage cinématique
`"X33"`	:	Composantes du tenseur d'écrouissage cinématique
`"X12"`	:	Composantes du tenseur d'écrouissage cinématique
`"X13"`	:	Composantes du tenseur d'écrouissage cinématique
`"X23"`	:	Composantes du tenseur d'écrouissage cinématique
`"DIST_DEV"`	:	Distance normalisée au seuil déviatoire
`"DEV_SUR_CRIT"`	:	Rapport entre le seuil déviatoire et le seuil déviatorique critique
`"DIST_ISO"`	:	Distance normalisée au seuil isotrope
`"NB_ITER"`	:	Nombre d'itérations internes
`"ARRET"`	:	Valeur du test local d'arrêt du processus itératif
`"NB_REDE"`	:	Nombre de redécoupage local du pas de temps
`"SIGNE"`	:	Signe du produit contracté de la contrainte déviatorique par la déformation plastique déviatorique

Remarque :

> *Lorsque la variable à extraire ne fait pas partie des variables internes des lois concernées, une alarme est émise mais le champ est tout de même affecté à R8VIDE().*

2.6.4 Options de calcul d’énergie

| `'ECIN_ELEM_DEPL'`

Énergie cinétique d'un élément.

| `'ENEL_ELNO_ELGA'`
`'ENEL_ELGA'`

Calcul de la densité d’énergie élastique aux points de Gauss ou aux nœuds de chaque élément.

Cette option diffère de l’option EPOT_ELEM_DEPL qui calcule l'énergie de déformation élastique intégrée dans chaque élément, cette énergie étant un scalaire pour un élément donné. Ici, on calcule la densité d'énergie élastique qui s’écrit :

$$E_p = \frac{1}{2}\sigma A^{-1}\sigma$$

Ce calcul s'appuie sur le champ de contraintes aux points de Gauss, obtenu par `SIEF_ELGA` ou `SIEF_ELGA_DEPL`.

| `'DISS_ELNO_ELGA'`
`'DISS_ELGA'`

Calcul de l'énergie de dissipation aux points de Gauss ou aux nœuds de chaque élément. Valable uniquement pour les éléments DKTG et la loi GLRC_DM. Leurs expressions sont données dans la doc R de la loi de comportement.

| `'EPOT_ELEM_DEPL'`

Calcul de l'énergie potentielle de déformation intégrée sur un élément, à partir des déplacements U et des températures T

- pour les éléments de milieux continus 2D et 3D :

$$EPOT=\frac{1}{2}\int_{element}\varepsilon(U)A\,\varepsilon(U)dv-\int_{element}\varepsilon(U)A\,\varepsilon^{th}(U)dv+\frac{1}{2}\int_{element}\varepsilon^{th}(U)A\,\varepsilon^{th}(U)dv$$

- pour les éléments de poutres :

$$EPOT=\frac{1}{2}U^T K_e U-U^T B^T A\,\varepsilon^{th}+\frac{1}{2}\varepsilon^{th}A\,\varepsilon^{th}$$

- et pour les éléments de plaques et coques :

$$EPOT=\frac{1}{2}U^T K_e U-U^T B^T A\,\varepsilon^{th}$$

2.6.5 Options de calcul de critères

| `'CRIT_ELNO_RUPT'`

Calcul des critères de rupture pour les coques en matériaux composites [R4.01.01]. A partir des contraintes calculées pour une couche donnée (option `'SIGM_ELNO_DEPL'`, et mots clés `NUME_COUCHE` et `NIVE_COUCHE`), et des contraintes limites fournies sous `ELAS_ORTH` dans `DEFI_MATERIAU`, le champ `'CRIT_ELNO_RUPT'` contient 6 composantes :

`CRIL` = $\frac{\sigma_L}{X_T}$ critère de rupture en traction dans le sens L, si $\sigma_L>0$

`CRILP` = $\frac{\sigma_L}{X_C}$ critère de rupture en compression dans le sens L, si $\sigma_L<0$

`CRIT` = $\frac{\sigma_T}{Y_T}$ critère de rupture en traction dans le sens T, si $\sigma_T>0$

`CRITP` = $\frac{\sigma_T}{Y_C}$ critère de rupture en compression dans le sens T, si $\sigma_T<0$

`CRILT` = $\frac{|\sigma_{LT}|}{S_LT}$ critère de rupture en cisaillement

et
`CRITH` = critère de Tsai-Hill
(voir exemple dans test SSLS121 [V3.03.121]

Toutes ces quantités sont calculées dans le repère d'orthotropie de la coche considérée.

| `'ENDO_ELNO_SIGA'`
`'ENDO_ELNO_SINO'`

Calcul du taux de triaxialité et de la contrainte équivalente d'endommagement (aux nœuds (`_SINO`) ou aux points de Gauss (`_SIGA`) à partir des contraintes.

Soit s le déviateur du tenseur des contraintes :

$$
\begin{aligned}
s &= \sigma - \frac{1}{3} tr(\sigma) \cdot I \\
\sigma_{eq} &= \sqrt{\frac{3}{2} s : s} \\
\sigma_h &= \frac{1}{3} tr(\sigma)
\end{aligned}
$$

Le taux de triaxialité α est défini par :

$$\alpha = \frac{\sigma_h}{\sigma_{eq}}$$

La contrainte équivalente d'endommagement est :

$$\sigma^* = \sigma_{eq} \sqrt{\frac{2}{3}(1+\nu) + 3(1-2\nu)\alpha^2}$$

| `'ENDO_ELGA'`

Calcul du dommage d aux points de Gauss à partir du tenseur des contraintes et de la déformation plastique cumulée p . La cinétique d'endommagement est donnée par la loi de Lemaître-Sermage :

$$\dot{d} = \left[\frac{Y}{S} \right]^s \dot{p} \quad \text{si} \quad p \geq p_{seuil}$$

avec $Y = \dfrac{\sigma^{*2}}{2E(1-D)^2}$

où S et s sont des coefficients caractéristiques du matériau et p_{seuil} le seuil d'endommagement lié à l'énergie stockée dans le matériau (si $s=1$ on obtient la loi de Lemaître classique).

Calcul systématique du taux de triaxialité α et de la contrainte équivalente d'endommagement σ^* :

`SI_ENDO` : $\sigma^* = \sigma_{eq} \sqrt{\frac{2}{3}(1+\nu) + 3(1-2\nu)\alpha^2}$

`TRIAX` : $\alpha = \dfrac{\sigma_h}{\sigma_{eq}}$

avec :

$$
\begin{aligned}
s &= \sigma - \frac{1}{3} tr(\sigma) \cdot I \\
\sigma_{eq} &= \sqrt{\frac{3}{2} s : s} \\
\sigma_h &= \frac{1}{3} tr(\sigma)
\end{aligned}
$$

Calcul du dommage total par cumul linéaire

D_CUMULE : $D=\sum_i D_i$:

TRIAX	valeur du taux de triaxialité
SI_ENDO	valeur de la contrainte d'endommagement de Lemaître-Sermage
COENDO	valeur de la contrainte d'endommagement de Lemaître-Sermage normalisée
DOM_LEM	valeur du dommage de Lemaître-Sermage
D_CUMULE	valeur du dommage de Lemaître-Sermage cumulé

| 'ENDO_ELNO_ELGA'

Endommagement de Lemaitre-Sermage obtenues par extrapolation aux nœuds des valeurs aux points de Gauss (cf. ENDO_ELGA).

| 'EQUI_ELGA_EPSI'
| 'EQUI_ELGA_EPME'

Déformations "équivalentes" aux points de Gauss (calculées à partir des champs EPSI_ELGA_DEPL, ou EPME_ELGA_DEPL) :

INVA_2 : second invariant de ε : $\mathrm{INVA_2}=\sqrt{\frac{2}{3}\varepsilon_{ij}\varepsilon_{ij}}$

INVA_2SG : second invariant de ε signé par la trace de ε

PRIN_1, PRIN_2, PRIN_3 : déformations principales

Pour les éléments TUYAU, les composantes calculés sont INVA_2 et INVA_2SG

| 'EQUI_ELGA_SIGM'

Contraintes "équivalentes" aux points de Gauss :

VMIS : contrainte de von Mises : $\mathrm{VMIS}=\sqrt{\frac{3}{2}s_{ij}s_{ij}}\ \ avec\ \ s_{ij}=\sigma_{ij}-\frac{1}{3}tr(\sigma)\delta_{ij}$

VMIS_SG : contrainte de von Mises signée par la trace de σ

INVA_2 : second invariant de ε

INVA_2SG : second invariant de ε signé par la trace de ε

PRIN_1, PRIN_2, PRIN_3 : contraintes principales

TRESCA : contrainte de Tresca

VECT_1_X, VECT_1_Y, ..., VECT_3_Z : contraintes, déformations et directions principales, uniquement pour les modélisations ci-dessous :

3D, 3D_SI, 3D_GRAD_VARI
SHB8 seulement pour les contraintes
AXIS, AXIS_SI, AXIS_GRAD_VARI
D_PLAN, D_PLAN_SI, D_PLAN_GRAD_EPSI, D_PLAN_GRAD_VARI
C_PLAN, C_PLAN_SI, C_PLAN_GRAD_EPSI, C_PLAN_GRAD_VARI

Pour les éléments TUYAU, les composantes calculés sont VMIS et VMIS_SG et leur version signée *_SG.

| 'EQUI_ELNO_EPSI'
| 'EQUI_ELNO_EPME'

Déformations "équivalentes" aux nœuds (calculées à partir des champs EPSI_ELNO_DEPL, ou EPME_ELNO_DEPL) :

INVA_2 : second invariant de ε

INVA_2SG : second invariant de ε signé par la trace de ε

PRIN_1, PRIN_2, PRIN_3 : déformations principales

| 'EQUI_ELNO_SIGM'

Contraintes "équivalentes" aux nœuds :

VMIS : contrainte de von Mises

VMIS_SG : contrainte de von Mises signée par la trace de σ

PRIN_1, PRIN_2, PRIN_3 : contraintes principales
TRESCA : contrainte de Tresca

Pour les éléments de milieux continus 2D et 3D, elles sont (à partir de la version 7.2) extrapolées aux nœuds à partir des contraintes équivalentes calculées aux points de Gauss, elles-mêmes calculées à partir des champs de contraintes aux points de Gauss (SIEF_ELGA_DEPL en linéaire, et SIEF_ELGA en non linéaire).

Dans le cas où on calcule ensuite les valeurs moyennées aux nœuds, par l'option 'EQUI_NOEU_SIGM' de CALC_NO, du fait des interpolations, on n'a pas forcément VMIS = ABS(VMIS_SG).

Pour les éléments de coques, elles sont calculées directement sur les contraintes locales (en un point de l'épaisseur) aux nœuds (SIGM_ELNO_DEPL en linéaire et SIGM_ELNO_COQU en non linéaire).

| INDI_LOCA_ELGA'

Indicateur de localisation, basé sur le tenseur acoustique (critère de RICE), défini par : det(N.H.N)<=0, où H désigne l'opérateur tangent et N la normale aux directions de localisation. Cet indicateur défini un état à partir duquel le problème local d'intégration du comportement perd son caractère d'unicité.

La méthode n'est développée que dans le cas 2D et pour la loi de comportement de type DRUCKER_PRAGER.

L'option INDI_LOCA_ELGA contient les composantes suivantes :

INDICE	:	Indicateur de localisation valant 0 si det(N.H.N) > 0,et valant 1 sinon, ce qui correspond a l'initiation de la localisation,
DIR1	:	correspond à la première normale à la zone de localisation,
DIR2	:	à la deuxième normale
DIR3	:	à la troisième normale
DIR4	:	à la quatrième normale

| EPEQ_ELNO_TUYO'
| SIEQ_ELNO_TUYO'

Calcul des déformations généralisées et des contraintes pour un éléments tuyau. Ce sont des valeurs équivalentes de type EQUI_ELGA_SIGM et EQUI_ELGA_EPSI en un point de la section. C'est une extraction effectuée suivant le même principe que l'option déjà existante SIGM_ELNO_TUYO. Le calcul des déformations s'effectue dans une couche et un secteur angulaire d'éléments tuyau.

| 'PMPB_ELGA_SIEF'
| 'PMPB_ELNO_SIEF'

Calcul de critères du RCC-M G3000 pour les éléments de poutres POU_D_E et POU_D_T.
Deux quantités sont calculées : PM et PMPB.

$$\text{PM}=\left|\frac{N}{S}\right|$$

$$\text{PMPB}=\left|\frac{N}{S}\right|+\frac{M\cdot R}{I}\quad avec\quad M=\sqrt{M_y^2+M_z^2}$$

Ceci correspond à la valeur maximum de SIXX dans une section circulaire [R3.08.01].

PMPB_ELGA_SIEF : valeurs de PM et PMPB aux points de Gauss, calculées à partir de SIEF_ELGA.
PMPB_ELNO_SIEF : valeurs de PM et PMPB aux nœuds, calculées à partir de SIEF_ELNO_ELGA.

En toute rigueur, ces critères sont à appliquer aux contraintes primaires. Cette distinction est à faire par l'utilisateur.

2.6.6 Options de calcul d'indicateurs d'erreur

| 'DCHA_ELGA_SIGM'

Indicateur local de décharge aux points de Gauss [R4.20.01].

| 'DCHA_ELNO_SIGM'

Indicateur local de décharge aux nœuds [R4.20.01].

Remarque :

Pour les options DCHA_ELGA_SIGM et DCHA_ELNO_SIGM , il faut savoir que le calcul nécessite de comparer les champs de contraintes aux instants t_i et t_{i+1} . Le résultat est rangé au numéro d'ordre associé à l'instant t_i .

L'indicateur de décharge est calculé par : $ID=\frac{\|\sigma_{i+1}\|-\|\sigma_i\|}{\|\sigma_{i+1}\|}$.

Par défaut, le calcul se fait pour les numéros d'ordre 1 à n–1.

Si on précise la liste d'instant (avec des "trous" éventuellement), le calcul ne concernera que les instants demandés mais il comparera toujours l'instant t_i avec l'instant t_{i+1} dans la liste des instants ayant servi à faire le calcul non-linéaire.

| 'ERZ1_ELEM_SIGM' (respectivement 'ERZ2_ELEM_SIGM')

Calcul de l'estimateur d'erreur de ZHU_ZIENKIEWICZ (élasticité linéaire 2D) à partir de l'option 'SIGM_NOZ1_ELGA' (respectivement 'SIGM_NOZ2_ELGA'). Si ce dernier champ n'existe pas dans resu, il est automatiquement construit au préalable, voir [R4.10.01].

| 'ERRE_ELEM_SIGM'

Estimateur d'erreur en résidu en mécanique [R4.10.02] et en hydro-mécanique stationnaire [R4.10.04] calculé par élément.

Conseils d'utilisation de l'option ERRE_ELEM_SIGM

Pour bien effectuer l'estimation d'erreur du calcul mécanique (dans les limites théoriques de la formule mise au point dans le cadre elliptique avec frontière régulière....), il faut l'effectuer sur tout le modèle :

TOUT = 'OUI' (valeur par défaut)
A noter que le modèle n'est pas forcément défini sur toute la géométrie.

Il faut aussi effectuer préalablement dans CALC_ELEM le calcul des contraintes aux nœuds (cf. [R3.06.03]), par SIGM_ELNO_DEPL ou SIRE_ELNO_DEPL en linéaire, par SIEF_ELNO_ELGA en non linéaire. Sinon une alarme est émise et le calcul d'erreur n'est pas effectué sans provoquer l'arrêt de l'exécution. Si le champ de contraintes aux nœuds existe déjà dans la structure de données resultat il n'est pas recalculé.

- En ce qui concerne les chargements :
  Il faut fournir à CALC_ELEM les chargements utilisés pour le calcul mécanique :
  ```
  EXCIT=_F(CHARGE=....)
  ```

en prenant bien garde aux règles de surcharges différentes pour le solveur mécanique et pour cette option de CALC_ELEM.
Ainsi, le calcul mécanique (MECA_STATIQUE, STAT_NON_LINE ...) agrège les conditions aux limites alors que le calcul de l'erreur ne va retenir, pour un type de conditions aux limites donné, que la dernière listée dans le EXCIT de CALC_ELEM.
L'ordre a donc une importance cruciale ! Il ne faut donc, pour un type de conditions aux limites, qu'une seule occurrence dans les AFFE_CHAR ...

On ne tient compte que des chargements de type : PESANTEUR, ROTATION, FORCE_INTERNE, PRES_REP, FORCE_FACE, FORCE_ARETE.
Seules les trois derniers peuvent être variables.

Il est conseillé d'utiliser des éléments finis d'ordre deux dans le cas de forces volumiques, sinon ce terme est très mal calculé puisque DIV(SIGMA) est quasi nul !

Pour prendre en compte l'erreur relative à une CL nulle il faut l'imposer en tant que fonction via un AFFE_CHAR_MECA_F. Via une constante, elle ne sera pas prise en compte.

- Maillage :

  Le maillage doit être triangulaire, quadrangle, tétraédrique ou hexaédrique, avec aucun GROUP_NO si on veut remailler ensuite via HOMARD.

- En 2D, il ne prend en compte que les erreurs sur (et entre) les éléments isoparamétriques SEG2/3, TRIA3/6, QUAD4/8/9.
  En 3D, idem avec FACE3/4/6/8/9, TETRA4/10, PENTA6/13/15 et HEXA8/20/27... donc pas les PYRAM ni les éléments de structure (coque, plaque, poutre...).

- D'autre part, il faut veiller à ne pas intercaler de segments entre deux quadrangles ou deux triangles (resp. quad ou triangle entre deux hexa), sinon on ne peut pas calculer le terme de saut relatif à ce voisinage. A la place, on s'enquérit (à tort) d'une éventuelle CL.

| 'ERRE_ELNO_ELEM'

Estimateur d'erreur en résidu calculé aux nœuds [R4.10.02].

| 'ERRE_ELGA_ELEM'

Estimateur d'erreur en résidu calculé aux points de Gauss [R4.10.02].

| 'QIZ1_ELEM_SIGM' (respectivement 'QIZ2_ELEM_SIGM')

Estimateur d’erreur en quantités d’intérêt basé sur la méthode de Zhu-Zienkiewicz (élasticité linéaire 2D).

| 'QIRE_ELEM_SIGM'

Estimateur d'erreur en quantités d’intérêt basé sur les résidus en mécanique, calculé par élément.

Conseil d’utilisation des options ’QIZ1_ELEM_SIGM’, ’QIZ2_ELEM_SIGM’, ’QIRE_ELEM_SIGM’

Le domaine d’utilisation des options ’QIZ1_ELEM_SIGM’ et ’QIZ2_ELEM_SIGM’ est le même que pour les options ’ERZ1_ELEM_SIGM’ et ’ERZ2_ELEM_SIGM’ et celui de l’option ’QIRE_ELEM_SIGM’ est le même que celui de l’option ’ERRE_ELEM_SIGM’ en mécanique.

Il est nécessaire de définir, en plus du problème initial (problème primal), un second problème (problème dual). Ce problème définit de manière sous-jacente la quantité d’intérêt sur laquelle on veut obtenir une erreur. A ce jour, seulement deux quantités d’intérêt sont disponibles :
•Moyenne d’une composante du déplacement ;
•Moyenne d’une composante du tenseur des contraintes.

Le problème dual diffère du problème primal **uniquement** par son chargement (celui-ci étant la quantité d'intérêt), **les conditions de bords restant les mêmes**. Ainsi le chargement à imposer sur le sous-domaine voulu, par le biais de la commande `AFFE_CHAR_MECA`, est :
•`FORCE_INTERNE`, effort unitaire pour la composante voulue du déplacement ;
•`EPSI_INIT`, déformation unitaire pour la composante voulue du tenseur des contraintes.

Une fois les deux problèmes résolus, on calcule pour chacun des deux l'estimateur d'erreur « classique » désiré (le même pour les deux…) et enfin il faut définir un nouveau `CALC_ELEM` avec une des options de calcul d'estimateur d'erreur en quantité d'intérêt.

Un exemple d'utilisation du calcul de l'estimateur en quantités d'intérêt basé sur les résidus peut être trouvé dans le test sslv113c et d.

| `'QIRE_ELNO_ELEM'`

Estimateur d'erreur en quantités d'intérêt basés sur les résidus calculé aux nœuds.

| `'RADI_ELGA_SIGM'`

Indicateur de perte de radialité aux points de Gauss [R4.20.01].

| `'RADI_ELNO_SIGM'`

Indicateur de perte de radialité aux nœuds [R4.20.01].

| `'SIGM_NOZ1_ELGA'`

Calcul des contraintes aux nœuds (élasticité linéaire 2D) ; les contraintes sont obtenues par un lissage global (au sens des moindres carrés) des contraintes aux points de GAUSS. Voir Estimation d'erreur par lissage des contraintes [R4.10.01].

| `'SIGM_NOZ2_ELGA'`
Calcul des contraintes aux nœuds (élasticité linéaire 2D) ; les contraintes sont obtenues par un lissage local à un patch d'éléments (au sens des moindres carrés) des contraintes aux points de GAUSS, voir [R4.10.01].

Remarque :

Pour les options `RADI_ELNO_SIGM` et `RADI_ELGA_SIGM` , il faut savoir que le calcul nécessite de comparer les champs de contraintes aux instants t_i et t_{i+1} . Le résultat est rangé au numéro d'ordre associé à l'instant t_i .

L'indicateur de perte de radialité est calculé par : $IP=1-\frac{(\sigma_{i+1}-\sigma_i):\sigma_i}{\|\sigma_{i+1}-\sigma_i\|\cdot\|\sigma_i\|}$.

Par défaut, le calcul se fait pour les numéros d'ordre 1 à n–1.

Si on précise la liste d'instant (avec des "trous" éventuellement), le calcul ne concernera que les instants demandés mais il comparera toujours l'instant t_i avec l'instant t_{i+1} dans la liste des instants ayant servi à faire le calcul non-linéaire.

```
| 'SING_ELEM'
    ♦  PREC_ERR  =  err                  [R]
    ◊  TYPE_ESTI =  'ERRE_ELEM_SIGM',
                    'ERZ1_ELEM_SIGM',
                    'ERZ2_ELEM_SIGM',
                    'QIRE_ELEM_SIGM',
                    'QIZ1_ELEM_SIGM',
                    'QIZ2_ELEM_SIGM',
```

Cette option ([R4.10.04]) vise à améliorer le traitement des singularités dans les stratégies d'adaptation de maillage (en l'occurrence avec HOMARD). En pratique les indicateurs d'erreur sont élevés dans les zones singulières si bien que rapidement seules les zones singulières sont raffinées et masquent donc les autres zones sensibles (zones à fort gradient) que l'on souhaiterait raffiner.

Cette option est un champ constant par élément et comporte trois composantes :

1) 'DEGRE' qui correspond à la détection des éléments finis singuliers. En pratique, cette composante vaut le degré d'interpolation des éléments finis choisis si l'élément fini n'est connecté à aucune singularité et vaut l'ordre de la singularité si l'élément fini est connecté à un nœud considéré par la méthode comme singulier (par exemple pour un élément voisin de la pointe d'une fissure, cette valeur vaut 0.5).
2) 'RAPPORT' qui correspond à la carte de modification de taille des éléments finis en cas de remaillage pour une erreur globale donnée. Cette composante est égale au rapport entre la nouvelle taille de l'élément fini et la taille actuelle.
3) 'TAILLE' qui correspond à la carte des nouvelles tailles des éléments finis en cas de remaillage pour une erreur globale donnée. Cette donnée est directement utilisable par certains mailleur (GMSH par exemple)

Cette option peut s'utiliser selon deux schémas :

- Les éléments finis considérés comme « singuliers » par la méthode peuvent être exclus du processus de découpage (en leur affectant par exemple une erreur nulle),
- la nouvelle taille des éléments finis est donnée à un remailleur (en l'occurrence HOMARD pour le Code_Aster) pour que celui-ci construise le nouveau maillage en respectant au mieux cette nouvelle carte de taille. Actuellement, le logiciel HOMARD découpe une fois l'élément (par exemple en 2D, un triangle est divisé en 4 mais pas plus). Pour continuer le découpage, il faut faire appel de nouveau à HOMARD. Une évolution est donc à prévoir pour qu'on puisse diviser plusieurs fois un élément et donc respecter au mieux la carte de taille du nouveau maillage.

Le calcul de cette option nécessite, au préalable, le calcul d'un indicateur d'erreur (c'est la composante absolue qui est utilisée et c'est codé en dur dans Aster) et de l'énergie de déformation totale. Dans le cas où l'une de ces options n'est pas calculée, un message d'alarme est émis et l'option 'SING_ELEM' n'est pas calculée.

- Pour l'indicateur d'erreur, quatre choix sont possibles :
  - 'ERRE_ELEM_SIGM' pour l'indicateur en résidus,
  - 'ERZ(1 ou 2)_ELEM_SIGM' pour l'indicateur de Zhu-Zienkiewicz (versions 1 ou 2),
  - 'QIRE_ELEM_SIGM' pour l'indicateur en quantité d'intérêt basé sur les résidus,
  - 'QIZ(1 ou 2)_ELEM_SIGM' pour l'indicateur en quantité d'intérêt basé sur Zhu-Zienkiewicz (versions 1 ou 2),
  - Si les six indicateurs sont présents et que rien n'est précisé avec 'TYPE_ESTI', l'indicateur en résidu 'ERRE_ELEM_SIGM' est choisi par défaut (message d'alarme émis). Si les deux indicateurs de Zhu-Zienkiewicz sont présents, on choisit 'ERZ1_ELEM_SIGM'.

- Pour l'énergie de déformation totale, on utilise :
  - Avec STAT_NON_LINE : 'ETOT_ELEM' qui est l'énergie de déformation totale sur un élément fini (valable pour un comportement élastique et pour un comportement élastoplastique 'VMIS_ISOT_XXX').
  - Avec MECA_STATIQUE : 'EPOT_ELEM_DEPL' qui est l'énergie potentielle de déformation élastique sur un élément fini et intégrée à partir des déplacements et de la température (valable uniquement pour un comportement élastique).

L'utilisateur doit également renseigner le mot-clé 'PREC_ERR' (un message fatal est émis en cas d'absence) qui permet de calculer la précision souhaitée sur l'erreur globale pour déterminer la carte de modification de taille (cf [R4.10.04]). La valeur de 'PREC_ERR' est comprise strictement entre 0 et 1 (un message fatal est émis si cette condition n'est pas vérifiée).

Le périmètre d'utilisation est le même (mais plus réduit) que celui de l'indicateur d'erreur choisi à savoir :

- Pour l'indicateur en résidu : éléments finis des milieux continus en 2D (triangles et quadrangles) ou 3D (uniquement les tétraèdres) pour un comportement élastoplastique,
- Pour l'indicateur de Zhu-Zienkiewicz : éléments finis des milieux continus en 2D (triangles et quadrangles) pour un comportement élastique.

En toute rigueur, le calcul de l'ordre de la singularité est obtenu à partir de l'énergie théorique en pointe de fissure, équation valable uniquement en élasticité. L'utilisation de cette option en élastoplasticité est donc à manipuler avec prudence.

| 'SING_ELNO_ELEM'
Détection des singularités et carte de modification de tailles aux nœuds par éléments. Le calcul préalable de 'SING_ELEM' est donc nécessaire. Si 'SING_ELEM' est absent, un message d'alarme est émis et l'option 'SING_ELNO_ELEM' n'est pas calculée.

2.6.7 Autres options

| 'VNOR_ELEM_DEPL'

Projection d'un champ de vitesse sur la normale des éléments de type coque ou plaque. Cette option sert notamment au chaînage avec le code VARIA.

| 'VALE_NCOU_MAXI'

```
♦  NOM_CHAM = ch              [cham_elem_*]
♦  NOM_CMP  = cmp             [TXM]
```

Extraction des valeurs extrémales, en chaque point de Gauss linéique d'un élément de tuyau, de la composante cmp du champ ch, sur tous les points d'intégration de la section.
Les champs possibles sont : les champs de contraintes (SIEF_ELGA_, SIEF_ELGA_DEPL), les champs de déformations (EPSI_ELGA_DEPL), les champs de valeurs équivalentes (EQUI_ELGA_SIGM, EQUI_ELGA_EPSI), les champs de variables internes (VARI_ELGA).

Le champ crée de nom VALE_NCOU_MAXI contient pour chaque instant les composantes :

MIN	valeur minimum
MAX	valeur maximum
NCOUMIN	numéro de la couche pour la valeur min
NCOUMAX	numéro de la couche pour la valeur max
NSEGMIN	numéro du secteur angulaire pour la valeur min
NSEGMAX	numéro du secteur angulaire pour la valeur max
NPCOUMIN	numéro du point de la couche NCOUMIN
NPCOUMAX	numéro du point de la couche NCOUMAX
NPSECMIN	numéro du point sur le secteur NSECMIN
NPSECMAX	numéro du point sur le secteur NSECMAX

2.6.8 Opérande NORME

Pour les options 'DCHA_…' ou 'RADI_…', on doit choisir une "norme" pour le tenseur des contraintes [R4.20.01] le choix est fait grâce au mot clé NORME.

/ 'VMIS' [DEFAUT]

On prend le second invariant du déviateur du tenseur des contraintes σ .

/ 'VMIS_CINE'

Avant de prendre le second invariant du déviateur, on retire au tenseur des contraintes σ le tenseur X caractérisant l'état d'écrouissage cinématique.

/ 'TOTAL'

On prend le second invariant du tenseur σ (en tenant compte de la trace).

/ 'TOTAL_CINE'

On retire d'abord X avant de prendre le second invariant du tenseur total des contraintes (tenant compte de la trace).

Remarque :

Les normes 'VMIS_CINE' et 'TOTAL_CINE' ne sont utilisables que si le calcul élastoplastique a été fait avec le comportement 'VMIS_CINE_LINE'.

2.7 Opérandes pour les options thermiques

2.7.1 Opérande OPTION

| 'FLUX_ELGA_TEMP'

Calcul des flux de chaleur aux points d'intégration de GAUSS à partir de la température.

| 'FLUX_ELNO_TEMP'

Calcul des flux de chaleur aux nœuds à partir de la température.

| 'ERRE_ELEM_TEMP',
| 'ERRE_ELNO_ELEM'

Estimateurs d'erreur en résidu en thermique. [R4.10.03]. Il faut préalablement effectuer dans CALC_ELEM le calcul des flux aux nœuds via FLUX_ELNO_TEMP.
Le mot-cle INFO procure tous les affichages intermédiaires du calculs (connectivités, normales, diamètres, valeurs des champs, jacobien).
L'option 'ERRE_ELNO_ELEM' permet de ramener le champ par élément ERRE_ELEM_TEMP a un champ aux nœuds par élément, ce qui permet de faire des relevés de valeurs ou des impressions / visualisations.

| 'SOUR_ELGA_ELEC'

Calcul d'une source de chaleur (pouvant être introduite dans un calcul thermique via le mot clé SOURCE = (SOUR_CALCULEE : …) de la commande AFFE_CHAR_THER [U4.44.02].

Cette source est calculée à partir d'un potentiel électrique via la loi d'Ohm. Ce potentiel électrique doit avoir été calculé par l'opérateur THER_LINEAIRE [U4.54.01] en faisant les analogies nécessaires.

| 'DEUL_ELGA_TEMP'
| 'DETE_ELNO_DLTE'

Dérivée Eulérienne du champ de température aux points de Gauss ou aux nœuds [R4.03.01]. Nécessite la connaissance de la dérivée Lagrangienne des températures, donc d'avoir activé l'option SENSIBILITE dans THER_LINEAIRE, et d'utiliser le mot-clé SENSIBILITE dans CALC_ELEM.

| 'DURT_ELGA_META'
'DURT_ELNO_META'

Calcul de dureté (aux points de Gauss ou aux nœuds) à partir des phases métallurgiques (cf. [R4.04.01]).

| 'HYDR_ELNO_ELGA'

Calcul de l'hydratation aux nœuds à partir de l'hydratation aux points de Gauss, calculée par THER_NON_LINE pour la modélisation du béton [R7.01.12].

2.8 Opérandes pour les options acoustiques

2.8.1 Opérande OPTION

| 'PRES_ELNO_DBEL' Calcul de la pression aux nœuds en décibels.

| 'PRES_ELNO_REEL' Calcul des parties réelles du champ de pression aux nœuds.

| 'PRES_ELNO_IMAG' Calcul des parties imaginaires réelles du champ de pression aux nœuds.

| 'INTE_ELNO_ACTI' Calcul de l'intensité acoustique active aux nœuds.

| 'INTE_ELNO_REAC' Calcul de l'intensité acoustique réactive aux nœuds.

Les définitions se trouvent dans [R4.02.01].

2.9 Opérande TITRE

◊ `TITRE = titre`

Titre que l'on veut donner au résultat de la commande [U4.02.01].

3 Exemples

3.1 Calcul du flux pour un `evol_ther`

```
evoth = CALC_ELEM (reuse=evoth,
                    RESULTAT   = evoth,
                    TOUT_ORDRE = 'OUI',
                    OPTION = 'FLUX_ELNO_TEMP' )
```

3.2 Calcul de l'estimateur d'erreur `ZZ2` pour quelques instants d'un concept de type `evol_elas`

```
evolas = CALC_ELEM (reuse= evolas,
         RESULTAT = evolas ,
         INST = (1.,10.,20.),
         OPTION = 'ERZ2_ELEM_SIGM' )
```

3.3 Contraintes aux points de GAUSS pour un calcul thermo-mécanique

```
evolas = CALC_ELEM (reuse= evolas,
         RESULTAT = evolas,
         TOUT_ORDRE = 'OUI',
         OPTION   ='SIEF_ELGA_DEPL' )
```

3.4 Calcul des énergies potentielles pour un mode propre

```
mode = CALC_ELEM (reuse=mode,
        RESULTAT = mode,
        NUME_MODE = 3,
        OPTION ='EPOT_ELEM_DEPL')
```

3.5 Calcul de la dérivée des contraintes

```
evolas = CALC_ELEM (reuse= evolas,
        RESULTAT = evolas,
       SENSIBILITE=(ps1,ps2),
        OPTION   ='SIEF_ELGA_DEPL' )
```

3.6 Calcul de l'endommagement de Lemaître ou de Lemaître-Sermage

```
evolas = CALC_ELEM(reuse = evolas,
        OPTION=('ENDO_ELGA','ENDO_ELNO_ELGA',),
        RESULTAT= evolas,);
```